

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

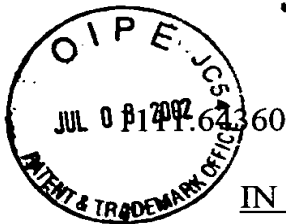
Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.



2653

RS

#

13

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

7-17-02

Applicant: Sato et al.)
)
Serial No. 09/581,468)
)
Filed: June 12, 2000)
)
For: MAGNETIC SENSOR,)
MAGNETIC HEAD,)
MAGNETIC ENCODER AND)
HARD DISK DEVICE)
)
Art Unit: Not assigned)

*I hereby certify that this paper is being deposited with
the United States Postal Service as FIRST-CLASS mail in
an envelope addressed to: Assistant Commissioner for
Patents, Washington, D.C. 20231, on this date.*

21 June 02
Date

F-CLASS.WCM

Appr. February 20, 1998

Registration No. 29,367

Attorney for Applicant

CLAIM FOR PRIORITY

Assistant Commissioner for Patents
Washington, DC 20231

RECEIVED

JUL 1 6 2002

Technology Center 2600

Sir:

Applicants claim foreign priority benefits under 35 U.S.C. § 119 on the
basis of the foreign applications identified below:

Japanese Patent Application No. 10-289781, filed October 12, 1998; and

Japanese Patent Application No. 10-308989, filed October 29, 1998.

A certified copy of each priority document is enclosed.

Respectfully submitted,

GREER, BURNS & CRAIN, LTD.

By: 

Patrick G. Burns
Reg. No. 29,367

June 21, 2002
300 South Wacker Drive
Suite 2500
Chicago, IL 60606
(312) 360-0080
Customer No. 24978

EH

09/581,468



日 本 国 特 許 庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

1 9 9 8 年 1 0 月 1 2 日

出 願 番 号

Application Number:

平成 1 0 年 特 許 願 第 2 8 9 7 8 1 号

出 願 人

Applicant (s):

富士通株式会社

RECEIVED

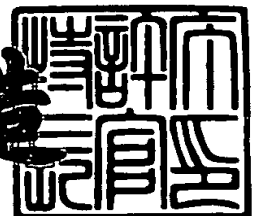
JUL 16 2002

Technology Center 2600

2 0 0 1 年 4 月 1 3 日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Patent Office

及 川 耕 造



出 証 番 号 出 証 特 2 0 0 1 - 3 0 3 0 1 7 6

【書類名】 特許願

【整理番号】 9803163

【提出日】 平成10年10月12日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G11B 5/39

【発明の名称】 磁気センサ、磁気ヘッド及び磁気エンコーダ

【請求項の数】 12

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

 【氏名】 菊地 英幸

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

 【氏名】 佐藤 雅重

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

 【氏名】 小林 和雄

【特許出願人】

 【識別番号】 000005223

 【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100091672

 【郵便番号】 103

 【住所又は居所】 東京都中央区日本橋人形町3丁目11番7号
山西ビル4階

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 岡本 啓三

【電話番号】 03-3663-2663

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 013701

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9704683

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 磁気センサ、磁気ヘッド及び磁気エンコーダ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 強磁性トンネル接合を持つ磁気センサに於いて、
少なくとも、外部磁界に対応して磁化方向が変化する磁性層を有し、
前記磁性層に含まれる一部の領域が、外部磁界を感知するセンサ部として機能
することを特徴とする磁気センサ。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の磁気センサに於いて、
前記センサ部は、その領域が前記強磁性トンネル接合に使用されている絶縁層
の膜厚によって決定される、磁気センサ。

【請求項 3】 請求項 2 に記載の磁気センサに於いて、
前記センサ部は、前記絶縁層の膜厚が相対的に薄い領域に対応する、前記磁性
層の領域に形成されている、磁気センサ。

【請求項 4】 請求項 2 に記載の磁気センサに於いて、
前記絶縁層は、金属の表面を酸化処理して形成される、磁気センサ。

【請求項 5】 請求項 2 に記載の磁気センサに於いて、
前記センサ部は、前記磁性層の中心部付近に形成されている、磁気センサ。

【請求項 6】 請求項 1 に記載の磁気センサに於いて、
前記センサ部は、前記磁性層の測定信号磁界に可能な限り近い箇所に形成され
ている、磁気センサ。

【請求項 7】 請求項 1 に記載の磁気センサに於いて、
前記センサ部は、前記磁性層の磁化方向が容易に回転し得る箇所に形成されて
いる、磁気センサ。

【請求項 8】 強磁性トンネル接合を有するスピバルブ構造で構成され、
前記強磁性トンネル構造は、2つの磁性層間に絶縁膜を介在配置して形成され
ており、前記絶縁膜は、膜厚が相対的に薄い領域を持ち、該領域に対応した磁
性層の領域に磁気センサ部が形成されている、磁気センサ。

【請求項 9】 請求項 8 に記載の磁気センサに於いて、前記強磁性トンネル
接合を有するスピバルブ構造は、

下部層と、
前記絶縁膜から成る障壁層と、
上部層とを有している、磁気センサ。

【請求項 10】 請求項 8 に記載の磁気センサに於いて、前記強磁性トンネル接合を有するスピバルブ構造は、

下部磁極と、
前記 2 つの磁性層の一方を形成する自由側磁性層と、
第一の磁性金属層と、
前記絶縁層と、
第二の磁性金属層と、
前記 2 つの磁性層の他方を形成する固定側磁性層と、
反強磁性層と、
上部磁極とが、この順序で形成されている、磁気センサ。

【請求項 11】 請求項 1 乃至 10 のいずれか一項に記載の磁気センサを利用して構成された、磁気ヘッド。

【請求項 12】 請求項 1 乃至 10 のいずれか一項に記載の磁気センサを利用して構成された、磁気エンコーダ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、磁気センサ、磁気ヘッド及び磁気エンコーダに関し、更に具体的には、強磁性トンネル接合を利用した磁気センサ、磁気ヘッド及びエンコーダに関する。

【0002】

【従来の技術】

電子素子の中にトンネル現象を利用したものがある。このトンネル現象とは、一般に、ポテンシャル障壁より小さい運動エネルギーを持った粒子、例えば電子等が、ポテンシャル障壁を通過して移動出来る現象を言う。古典力学では説明が不可能であるが、量子力学では説明可能な特有の現象である。粒子の波動関数が、

ポテンシャル障壁の内側を減衰しながら障壁の外側まで進み、外側でも波動関数の振幅がゼロでなければ進行波として進むため、障壁を通過することが出来る。

【0003】

トンネル現象の例として、 α 崩壊により原子核から α 粒子が放出される現象、金属に高い電圧を印加して金属表面から電子が放出される現象（電界放出）、半導体のpn接合に高い逆方向バイアスをかけると空乏層を電子が突き抜ける現象等が知られている。実用上、非常に重要な量子力学的効果である。

電子素子で利用されるトンネル現象として典型的な現象は、「金属／絶縁体／金属」の接合に於いて、この両側の金属に電圧を印加すると、絶縁体が十分に薄いときにわずかな電流が流れる現象がある。このような現象は、通常、絶縁体は電流を通さないが、絶縁体の厚さが数オングストローム（Å）～数十Å程度、好ましくは数Å～十数Å程度のごく薄いときには、量子力学的効果によって、僅かに電子がこの絶縁体を通過する確率を持つため発生する現象である。このときの電流を「トンネル電流」と称し、このような構造を持つ接合を「トンネル接合」と称している。

【0004】

トンネル接合を実現するごく薄い絶縁層を実現するには、通常、金属層の酸化膜を絶縁障壁として利用している。例えば、アルミニウムの表面層を自然酸化、プラズマ酸化、熱酸化等の適当な酸化処理法で酸化させて形成している。酸化膜の膜厚の制御は、用いられた酸化処理に応じて酸化条件を調節することで、数オングストローム（Å）～数十Å程度の所望の膜厚の酸化膜とすることが出来る。このように形成された酸化アルミニウムはごく薄い絶縁体であるため、トンネル接合における障壁層として機能する。

【0005】

上述した「金属／酸化膜／金属」のトンネル接合の両側の金属間に電圧を印加すると、印加電圧に対する電流は、通常の抵抗体が示す線形性と異なり、非線形性を示す特徴がある。従って、このようなトンネル接合を持つ電子素子は、非線形の素子として利用されている。

次に、この「金属／酸化膜／金属」の構造において、酸化膜の両側の金属を

強磁性金属に置き換えた構造「強磁性金属／酸化膜／強磁性金属」は、「強磁性トンネル接合」と称されている。強磁性トンネル接合に於いては、トンネル確率（トンネル抵抗）は、両側の磁性層の磁化状態に依存することが知られている。換言すれば、トンネル抵抗は、磁場によって両側の磁性層の磁化状態を変更することによって制御することが可能である。両側の磁性層の磁化方向の相対角度を θ としたとき、トンネル抵抗 R は、次式で表すことが出来る。

【0006】

$$R = R_s + 0.5 \Delta R (1 - \cos \theta) \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 R_s は、飽和磁場を印加したときのトンネル抵抗を表し、このときの両側2つの磁化方向は磁場印加方向を向いている。また、 ΔR は、トンネル抵抗の変化分を表す。

式(1)の意味するところは、飽和磁場中で2つの磁性層の磁化を同じ方向にしたとき、磁化方向の相対角度は $\theta = \text{ゼロ}$ ($\cos \theta = 1$) となり、トンネル抵抗は $R = R_s$ となる。これに対し、飽和磁場中で2つの磁性層の磁化を反対方向にしたとき、磁化方向の相対角度は $\theta = 180^\circ$ ($\cos \theta = -1$) となり、トンネル抵抗は $R = R_s + \Delta R$ となる。無磁場中では、後で説明するように、2つの磁性層の内、一方の磁性層は固定側磁性層として磁化方向が固定されており、他方の磁性層は自由側磁性層としてその磁界方向は固定側磁性層の磁化方向に対し直交するように弱く磁区制御されている。このとき、2つの磁性層の磁化方向の相対角度は $\theta = 90^\circ$ ($\cos \theta = 0$) となり、トンネル抵抗は $R = R_s + 0.5 \Delta R$ となる。

【0007】

即ち、両磁性層の磁化方向が一致したとき ($\theta = \text{ゼロ}$)、トンネル抵抗は $R = R_s$ の最小値となり、両磁性層の磁化方向が反対のとき ($\theta = 180^\circ$)、トンネル抵抗は $R_0 = R_s + \Delta R$ の最大値となる。従って、無磁場のとき両磁性層の磁化方向が相対的に $\theta = 90^\circ$ となるように設定することにより、抵抗値は $\theta = 90^\circ$ を中心としたゼロから±最大値の実質的に線形の出力が得られることになる。

【0008】

このような現象は、強磁性体内部の電子が分極していることに起因する。通常、物質中の電子は、スピン状態が上向きの電子（u p 電子）とスピン状態が下向きの電子（d o w n 電子）とが存在する。非磁性金属の内部には、u p 電子と d o w n 電子とが同じ数だけ存在するため、非磁性金属全体として磁性を示さない。しかし、磁性金属の内部には、u p 電子数（N_{up}）と d o w n 電子数（N_{down}）とが異なっているため、磁性金属全体としてその電子数の多い方の磁性（即ち、u p 磁性又は d o w n 磁性）を示すことになる。

【0009】

電子が、両側の磁性層のいずれか一方から薄い酸化膜を通して他方の磁性層にトンネルするとき、これらの電子は各々のスピン状態を保ったままでトンネルすることが知られている。従って、トンネル先の磁性層の電子状態に空きがあれば、トンネルは可能であるが、トンネル先の磁性層の電子状態に空きが無ければ、トンネルすることは出来ない。

【0010】

トンネル抵抗の変化率（ $\Delta R/R_s$ ）は、次式のように、電子源となる磁性層（トンネル元）の分極率（偏磁率とも言う。）とトンネル先の分極率との積を用いて表される。

$$\Delta R/R_s = 2 \times P_1 \times P_2 / (1 - P_1 \times P_2) \dots\dots\dots (2)$$

ここで、P₁：一方の磁性層の分極率

P₂：他方の磁性層の分極率

なお、磁性層の分極率Pは次式で表される。

【0011】

$$P = 2 \cdot (N_{up} - N_{down}) / (N_{up} + N_{down}) \dots\dots\dots (3)$$

ここで、N_{up}：磁性金属内部の u p 電子数

N_{down}：磁性層内部の d o w n 電子数

磁性層の分極率Pは、強磁性層金属の種類に依存するが、種類によっては50%近い値を持つものもあり、この場合理論的には、トンネル抵抗の変化率（ $\Delta R/R_s$ ）は数十%の抵抗変化率が期待できることになる。

【0012】

従来知られている磁気抵抗効果 (MR) として、異方性磁気抵抗効果 (AMR) では抵抗変化率は 0.6% 程度であり、また巨大磁気抵抗効果 (GMR) では抵抗変化率は数%~十数%である。従って、トンネル抵抗の変化率は、これら AMR や GMR と比較して、格段に大きく、磁気ヘッド、磁気センサ等への応用が期待される。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】

磁気ヘッドとして、GMR を利用した典型例としてスピバルブ構造が知られている。本出願人は、このスピバルブ構造に上述の強磁性トンネル接合を応用した TMR (tunnel-MR) ヘッドを、既に提案している。

このスピバルブ構造は、2つの磁性層の間に磁性金属層を介在させ、一方の磁性層の磁化方向のみを固定するため、その磁性層の上を反強磁性層で覆う構造を採用する。また、強磁性トンネル接合として、上述のように、2つの強磁性層の間に薄い酸化膜を介在させる構造を採る。

【0014】

図1は、強磁性トンネル構造を説明する図である。強磁性トンネル接合を持つスピバルブ構造は、典型的には、例えば図1に示すように、シリコン基板1の上に形成された下部電極2と、下部電極の上に形成された自由側磁性層3と、自由側磁性層の上に形成された第1の磁性金属層4と、第1の磁性金属層の上に形成された絶縁層5と、絶縁層の上に形成された第二の磁性金属層6と、第二の磁性金属層の上に形成された固定側磁性層7と、固定側磁性層の上に形成された反強磁性層8と、反強磁性層8の上に形成された上部電極9とを有している。

【0015】

下部電極2、自由側磁性層3及び第1の磁性金属層4は、一緒になって、下部層10を形成し、第二の磁性金属層6、固定側磁性層7、反強磁性層8、反強磁性層8及び上部電極9は、一緒になって、上部層12を形成する。下部層10と上部層12の間は、絶縁層5から成る障壁層11が介在配置され分離されている。

【0016】

このスピバルブ構造の各要素は、例えば、次の通りである。基板 1 はシリコンから成る。下部電極 2 及び上部電極 9 は、各々、Ta 膜から成り、膜厚は 50 nm 程度である。自由側磁性層 3 及び固定側磁性層 7 は、各々、NiFe 膜から成り、膜厚は 17 nm 程度である。第一及び第二の磁性金属層 4, 6 は、各々、Co 膜から成り、膜厚は 3.3 nm 程度である。絶縁層 5 は、Al-Al₂O₃ 膜から成り、膜厚は 1.3 nm 程度である。反強磁性層 8 は、FeMn 膜から成り、膜厚は 45 nm 程度である。

【0017】

最初の NiFe 膜は、2 つの強磁性層の内的一方であり、磁化方向が固定されていないことから自由側磁性層（フリー層）3 と称せられる。両 Co 膜 4, 6 に挟まれた Al-AlO 膜は、強磁性トンネル接合を形成する薄い酸化アルミニウム膜 AlO 膜から成る障壁層 11 を提供するものである。2 番目の NiFe 膜は他方の強磁性層であり、磁化方向が固定されていることから固定側磁性層（ピンド層）7 と称せられる。第一の磁性金属層 4 は自由側磁性層 3 と同様に機能し、第二の磁性金属層 6 は固定側磁性層 7 と同様に機能する。FeMn 膜は、固定側磁性層 7 と交換結合して固定側磁性層の磁化方向を固定するためのもので、反強磁性層（ピニング層）8 と称される。

【0018】

このような「自由側磁性層／絶縁層／固定側磁性層／反強磁性層」の構造では、外部から磁場（例えば、記録媒体からの信号磁界）を印加すると、自由側磁性層 3 と第一の磁性金属層 4 のみが磁化回転する。この結果、主として、第一の磁性金属層 4 の磁化方向と第二の磁性金属層 6 の磁化方向との相対角度 θ が変化するため、強磁性トンネル接合の抵抗変化を示す。即ち、この TMR (tunnel MR) は磁場に依存して、式 (1) に示したようにトンネル抵抗が変化する。

【0019】

図 1 (B) は、図 1 (A) に示す強磁性トンネル構造を利用した磁気センサの抵抗変化の測定を説明する模式図である。上部層 12 と下部層 10 の間に、電流源 39 が接続され、一定電流が流される。同様に、上部層 12 と下部層 10 の間に、電圧検出器 40 が接続され、両層間の電圧変化が検出される。外部から磁場

(例えば、信号磁界)を印加すると、図1(A)に示す強磁性トンネル構造のトンネル抵抗が変化し、これが電圧検出器40によって、電圧の変化として検出される。

【0020】

図2は、このようなスピバルブ構造を利用したトンネル構造の磁気抵抗効果曲線を占めしている。図2によると、外部磁界が -50 エルステッド(Oe)→ -10 Oe→ゼロ→ $+10$ Oe→ $+50$ Oeと変化するにつれ、約 0.0% →約 0.0% →約 10.0% →約 20.0% →約 20.0% の可逆的な抵抗変化率を示す。図2のようなスピバルブ構造を持つトンネル構造は、外部磁界が $-10\sim+10$ Oe範囲に於いて、約 $0\sim20\%$ の略直線的な抵抗変化率を示すことが判明した。また、 $-30\sim+30$ Oe範囲に於いて、約 $0\%\sim20\%$ の抵抗変化率を示す。また、これを論理「0」、「1」のデータに変換処理することで、ディジタル論理回路にも利用できる。

【0021】

しかし、スピバルブ構造を持つトンネル構造を磁気ヘッド、磁気エンコーダ等の磁気センサに応用した場合、素子高さ h が極端に短いと、素子のエッジ付近で磁化の回転が困難になることがある。即ち、磁気センサの素子高さを低くすると、エッジ部分の影響が大きくなり、磁化の回転が困難になって、その結果、磁気センサの感度が減少するという問題がある。

【0022】

実際に使用される素子寸法が数 $\mu\text{m}\times$ 数 μm のオーダーでは、素子高さ h が減少したとき、固定側磁性層から自由側磁性層に対する静磁気的な結合が相対的に強くなり、自由側磁性層の磁化方向は固定側磁性層の磁化方向に対して反平行状態になり易く、磁化方向の容易な磁化方向の回転が困難となる。この結果、磁気抵抗効果素子の感度が減少することとなる。

【0023】

従って、上述の問題点に鑑みて、本発明は、新規な磁気センサ、磁気ヘッド及びエンコーダを提供することを目的とする。

更に本発明は、トンネル接合を有するスピバルブ構造で形成され、自由側磁

性層の磁化の回転を十分に確保して、良好な感度を持つ磁気センサ、磁気ヘッド及びエンコーダを提供することを目的とする。

【0024】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る磁気センサは、例えば図3(A)に示すように、強磁性トンネル接合を持つ磁気センサであって、少なくとも、外部磁界に対応して磁化方向が変化する磁性層を有し、前記磁性層に含まれる一部の領域が、外部磁界を感知するセンサ部として機能することを特徴とする。

【0025】

更に本発明に係る磁気センサは、上述の磁気センサであって、前記センサ部は、その領域が前記強磁性トンネル接合に使用されている絶縁層の膜厚によって決定される。

更に本発明に係る磁気センサは、上述の磁気センサであって、前記センサ部は、前記絶縁層の膜厚が相対的に薄い領域に対応する、前記磁性層の領域に形成されている。

【0026】

更に本発明に係る磁気センサは、上述の磁気センサであって、前記絶縁層は、金属の表面を酸化処理して形成される。

更に本発明に係る磁気センサは、上述の磁気センサであって、前記センサ部は、前記磁性層の中心部付近に形成されている。

更に本発明に係る磁気センサは、上述の磁気センサであって、前記センサ部は、前記磁性層の測定信号磁界に可能な限り近い箇所に形成されている。

【0027】

更に本発明に係る磁気センサは、上述の磁気センサであって、前記センサ部は、前記磁性層の磁化方向が容易に回転し得る箇所に形成されている。

更に本発明に係る磁気センサは、図4に示すように、強磁性トンネル接合を有するスピバルブ構造で構成され、前記強磁性トンネル構造は、2つの磁性層間に絶縁膜を介在配置して形成されており、前記絶縁膜は、膜厚が相対的に薄い領域を持ち、該領域に対応した磁性層の領域に磁気センサ部が形成されている。

【0028】

更に本発明に係る磁気センサは、上述の磁気センサであって、前記強磁性トンネル接合を有するスピバルブ構造は、下部層と、前記絶縁膜から成る障壁層と、上部層とを有している。

更に本発明に係る磁気センサは、上述の磁気センサであって、前記強磁性トンネル接合を有するスピバルブ構造は、下部磁極と、前記2つの磁性層の一方を形成する自由側磁性層と、第一の磁性金属層と、前記絶縁層と、第二の磁性金属層と、前記2つの磁性層の他方を形成する固定側磁性層と、反強磁性層と、上部磁極とが、この順序で形成されている。

【0029】

本発明に係る磁気センサは、上述のような構造を採択することにより、センサ部を磁性層の範囲内の任意の場所に設定することが出来る。例えば、センサ部を磁化が最も回転しやすい自由側磁性層及び第一の磁性金属層の略中央部付近に設定することも出来る。若しくは、センサ部を、前記磁性層の測定信号磁界に可能な限り近い箇所に形成することが出来る。或いは、センサ部、磁性層の磁化方向が容易に回転し得る箇所に形成することが出来る。

【0030】

本発明に係る磁気センサでは、センサ部が磁性層の略中央部の一部分となっていることから、センサ部の各々の磁区の磁化の回転は、磁性層の寸法の影響を受けずに、外部信号磁界 H_{sig} に対応して自由に回転できる。また、磁性層がセンサ部サイズに拘わらず大きくなっているため、素子形状による反磁界等の影響を減少することが出来る。こうして、磁性層の寸法に起因する磁化方向の回転を阻害する要因を実質的に排除し、磁気センサの感度を向上することが出来る。

【0031】

本発明に係る磁気センサは、AMR及びGMRに比較して、外部信号磁界に対して一段と高い抵抗変化を得ることが出来る。

更に本発明に係る磁気ヘッドは、上述の磁気センサを利用して構成された磁気ヘッドである。

更に本発明に係るエンコーダは、例えば図9に示すように、上述の磁気センサ

を利用して構成された磁気エンコーダである。

【0032】

【発明の実施の形態】

以下、本発明に係る磁気センサ及びその製造方法の実施形態に関し、添付の図面を参照しながら詳細に説明する。なお、図中、同じ要素に対しては同一の符号を付して、重複した記載を省略する。

〔磁気センサ〕

ここでは磁気センサの典型例として、スピバルブ構造を持つ磁気センサを例にとって説明する。図3（A）は、本実施形態に係るスピバルブ構造を持つトンネル接合を採用した磁気センサの構造を示す図である。なお、比較のために、図3（B）に、比較例として先に提案したスピバルブ構造を持つ磁気センサの構造を示す。

【0033】

図3（A）に示すように、本実施形態に係る磁気センサは、下部磁極2と上部磁極9との間に、スピバルブ構造を持つトンネル接合を介在配置している。このスピバルブ構造は、下部層10と上部層12との間に障壁層11を介在配置した層構成を有する。

後で図4に関連して詳しく説明するが、このスピバルブ構造は、概して、下部層10として、少なくとも、自由側磁性層と、第一の磁性金属層とを持ち、また、上部層12として、少なくとも、第二の磁性金属層と、固定側磁性層と、反磁性層とを有している、これら2つの磁性金属層の中間部には、障壁層11として、薄い絶縁層が介在配置されている。図に示すように、スピバルブ構造の中央付近の領域に、センサ部13が形成されている。

【0034】

外部磁界として、磁気ディスクのような記録媒体からの信号磁界 H_{sig} が、図で見て下方から印加され、自由側磁性層の磁化を回転させる。

本実施形態に係る磁気センサの特徴の1つは、図3（A）に示すように、信号磁界に対するセンサ部13が、スピバルブ構造を持つトンネル接合の概して中央部の一部の領域（磁性層部の一部の領域 $L \times h_s$ ）に限定されていることにある。

る。

【0035】

そして、後で説明するように、このセンサ部13の領域のサイズは、図3（B）に関連して説明する磁気センサの磁性層の領域のサイズ（ $h \times L$ ）に略等しくなっている。従って、本実施形態に係る磁気センサは、磁性層がセンサ部13の一部に有しているので、磁性層のサイズは、図3（B）の従来の磁気ヘッドの磁性層と比較して、相対的に大きくなっている。

【0036】

これに対して、図3（B）に示す先に提案したスピバルブ構造を持つ磁気センサの構造は、下部磁極20と上部磁極90との間に、スピバルブ構造を介在配置している。この従来のスピバルブ構造の層構成に関しては、図3（A）に示すスピバルブ構造のそれと同じであり、下部層100と上部層120との間に障壁層110を介在配置した層構成を有する。下部層100及び上部層120は、図3（A）で説明したのと同じ層構成を持っている。

【0037】

同様に、外部磁界として、磁気ディスクのような記録媒体からの信号磁界 H_{sig} は、図で見て下方から印加され、自由側磁性層の磁化を回転させる。従来のスピバルブ構造を持つ磁気センサでは、信号磁界 H_{sig} に対するセンサ部130は、2つの絶縁層150-1、150-2で挟まれた部分（磁性層部全体、即ち $h \times L$ ）となっている。

【0038】

図3（A）の本実施形態に係る磁気センサと図3（B）の先に提案した磁気センサを比較すると、両者のセンサ部13、130のサイズはほぼ同じであるが、前者（本実施形態）のセンサ部13は磁性層部の一部の領域に限定されているのに対して、後者（比較例）のセンサ部130は磁性層部全体となっている点で相違する。

【0039】

本実施形態に係る磁気センサ13は、図3（A）に示すような構造を採択することにより、センサ部13を磁性層の範囲内の任意の場所に設定することが出来

る。ここでは、センサ部 13 を自由側磁性層（下部層 10 の一層）の磁化が最も回転しやすい磁性層の略中央部付近に設定することが好ましい。若しくは、センサ部 13 は、前記磁性層の測定信号磁界に可能な限り近い箇所に形成することが出来る。或いは、センサ部 13 は、磁性層の磁化方向が容易に回転し得る箇所に形成することが出来る。

【0040】

本実施形態に係る磁気センサでは、センサ部 13 が磁性層の略中央部の一部分となっていることから、センサ部 13 の各々の磁区の磁化の回転は、磁性層の素子高さ h 方向の寸法の影響を受けずに自由に回転できる。即ち、センサ部 13 の高さ h_s が磁性層の高さ h の一部となっていることより、センサ部 13 のエッジ付近においても外部信号磁界 H_{sig} に対応して磁区が自由に回転できる。また、磁性層がセンサ部サイズに拘わらず大きくなっているため、素子形状による反磁界等の影響を減少することが出来る。

【0041】

これに対して、先に提案した磁気磁気センサ（図 3 B）では、自由側磁性層の全領域がセンサ部 130 となっていることから、磁性層の高さ方向の寸法 h （＝ h_s ）の影響を受けて、センサ部 130 の各々の磁区の磁化の回転がしにくくなっている。

図 4 は、図 3（A）に示す本実施形態の磁気センサの詳細な断面図である。この磁気センサの層構成は、基板 1 と、この基板の上に形成された下部層 10 と、この下部層の上に形成された障壁層 11 と、この障壁層の上に形成された上部層 12 とを備えている。

【0042】

下部層 10 は、下部電極 2 と、自由側磁性層（下部層、フリー層）3 と、この自由側磁性層の上に形成された第一の磁性金属層 4 とを有している。障壁層 11 は、絶縁層 5 を有する。上部層 12 は、この絶縁層の上に形成された第二の磁性金属層 6 と、この第二の磁性金属層の上に形成された固定側磁性層 7 と、この固定側磁性層の上に形成された反強磁性層 8 と、この反強磁性層の上に形成された上部電極 9 とを有している。

【0043】

絶縁層 5 は、その中央部の一部に他の部分と比べて相対的に膜厚が薄く形成された領域を持つ。そのため、絶縁層 5 の上方に形成された第二の磁性金属層 6 は膜厚は全体的に変わらないが、絶縁層 5 の膜厚の薄い中央部に対応する第二の磁性金属層 6 の中央部分は他の部分と比較して一段と凹んでいる。この傾向は、その上方に形成された固定側磁性層 7、反強磁性層 8 及び上部電極 9 においても同様に、一段と凹んでいる。この凹みは、数オングストローム程度となるものと思われる。この中央部の凹部（凹み領域）16 が、図 3（A）に関連して説明したように、センサ部分 13 を形成している。

【0044】

この磁気センサの各要素について説明する。

基板 1 は、好ましくは、自然酸化膜が形成された Si 基板から成る。

下部電極 2 は、好ましくは、膜厚約 50 nm の Ta 膜から成る。

自由側磁性層 3 は、好ましくは、膜厚約 17 nm の NiFe 膜から成る。

第一の磁性金属層 4 は、好ましくは、膜厚約 3.3 nm の Co 膜から成る。

【0045】

絶縁層 5 は、膜厚数オングストローム（Å）～数十 Å 程度の酸化 Al 膜から成り、本実施形態では、凹み部分 16 では膜厚約 1.3 nm、その他の部分では膜厚約 3.3 nm の酸化アルミニウム被膜から成る。

第二の磁性金属層 6 は、第一の磁性金属層 4 と同様に、好ましくは、膜厚約 3.3 nm の Co 膜から成る。第一及び第二の磁性金属層 4、6 は、Co 膜の分極率が隣接する NiFe 膜（自由側磁性層 3 又は固定側磁性層 7）の分極率より高いため、自由側磁性層 3 又は固定側磁性層 7 に Co 膜を重ねることにより高い MR 比を達成するために設けられている。

【0046】

固定側磁性層 7 は、好ましくは、自由側磁性層 3 と同様に、膜厚約 17 nm の NiFe 膜から成る。

反強磁性層 8 は、好ましくは、膜厚約 50 nm の FeMn 膜から成る。

上部電極 9 は、下部電極 2 と同様に、好ましくは、膜厚約 50 nm の Ta 膜から

成る。

【0047】

この磁気センサは、スピバルブ構造に強磁性トンネル接合を応用したTMR (tunnel MR) となっている。スピバルブ構造としては、2つの磁性層（即ち、自由側磁性層3及び固定側磁性層7）の間に磁性金属層であるCo層4, 6を介在配置し、固定側磁性層7及び第二の磁性金属層6の磁化方向のみを固定するため、その磁性層の上を反強磁性層8で覆う構造を採っている。また、強磁性トンネル接合は、2つの強磁性層3, 7の間に（更に具体的には、第一及び第二の磁性金属層4, 6の間に）、薄い酸化膜5を障壁層11として介在配置させる構造を採っている。

【0048】

この磁気センサの作用について説明する。絶縁層5のセンサ部分13の膜厚は、他の絶縁層部分より相対的に薄くなっている。絶縁層5の膜厚方向のトンネル抵抗Rは、次式によって表されるように、絶縁層の膜厚に大きく依存する。

$$R \propto t \cdot \exp [t] \cdots \cdots (4)$$

ここで、t：絶縁層の膜厚

従って、下部電極2と上部電極9の間に直流電流を流すと、トンネル電流18は、絶縁層5の膜厚が薄い領域に集中的に流れる。即ち、直流電流は、上部電極9から下部電極2までを、実質的に、絶縁層5の膜厚の薄い領域16に対応する反強磁性層8から自由側磁性層3までの各層の領域を流れる。この結果、この膜厚が薄くなった凹み領域16に対応する領域のみが実質的にセンサ部13として機能する。

【0049】

上述したように、強磁性トンネル接合に於いては、両側の磁性層の磁化方向の相対角度を θ としたとき、トンネル抵抗Rは、式(1)で表すことが出来る。即ち、外部信号磁界 H_{sig} に対応して自由側磁性層3及び磁性金属層4の磁化は回転しており、両側の磁性金属層4, 6の磁化方向の相対角度 θ で決定されるトンネル抵抗Rが変化する。図1(B)に関連して説明したように、下部電極2と上部電極9の間に一定の直流電流を流すと、このトンネル抵抗Rを電圧値として検

出することが出来る。その結果、磁気センサは、外部信号磁界 H_{sig} を検出することが出来る。

【0050】

図4及び図3(A)に示すように、センサ部13は、磁性層の一部の領域に形成されている。好ましくは、センサ部13は、磁性層の中央部付近に形成されており、そのサイズは、先に提案した磁気センサの磁性層領域（即ち、図3(B)のセンサ部130）と同じに形成されている。このため、センサ部13を磁性層領域内の最適な位置に形成することが出来る。或いは、センサ部13は、磁性層の中央部付近に形成することが出来る。或いは、センサ部13は、測定信号磁界に可能な限り近い位置に形成することが出来る。この結果、自由側磁性層3では、磁性層端部の影響を受けずに、各々の磁区で容易に磁化の回転が出来るようになる。

〔磁気センサの製造方法〕

図5～図8を用いて、図3(A)及び図4で説明した磁気センサの製造方法について説明する。ここでは、薄い絶縁層領域の形成方法の相違により、図5(A)～図6(C)により第1の製造方法を説明し、図7(A)～図8(C)により第2の製造方法を説明する。

【0051】

（第1の製造方法）

図5(A)乃至図6(C)は、連続して、第1の製造方法を説明する図である。

図5(A)に示すように、自然酸化膜が付いたSi基板1を用意する。この基板1の上に、スパッタ法を用いて、Ta膜を膜厚約50nm成膜する。このTa膜は、素子完成後に、下部電極2として機能する。下部電極2の上に、約300 Oeの磁場を印加しながら、NiFe膜を膜厚約17nm成膜し、更に、Co膜を膜厚約3.3nm成膜する。素子完成後に、NiFe膜から成る自由側磁性層（下部層、フリー層）3とCo膜から成る第一の磁性金属層4とは、フリー層として機能する。

【0052】

図5(B)に示すように、センサ部13にレジスト19を塗布し、その後、こ

のレジスト 19 及び第一の磁性金属層 4 の上に、絶縁層 5 として機能する Al 膜を膜厚約 2.0 nm 成膜する。

図 5 (C) に示すように、プラズマ酸化法を用いて、Al 膜の表面を酸化して、第一の酸化アルミニウム膜 5-1 にする (即ち、Al-Al₂O₃ 膜)。その後、レジスト 19 を除去する。酸化アルミニウム膜は、素子完成後、トンネル障壁として機能する薄い絶縁膜 5 として機能する。

【0053】

図 5 (D) に示すように、再び、Al 膜を膜厚約 1.3 nm 成膜する。同様に、プラズマ酸化法を用いて、Al 膜の表面を酸化して、第二の酸化アルミニウム膜 5-2 にする。この結果、第一の酸化アルミニウム膜 5-1 と第二の酸化アルミニウム膜 5-2 とから形成された絶縁層 5 は、センサ部 13 では膜厚約 1.3 nm となり、それ以外の部分では膜厚約 3.3 nm の絶縁層が形成される。この絶縁層 5 の部分的に薄くなった領域 (センサ部) は、素子完成後、トンネル障壁として機能する。

【0054】

図 6 (A) に示すように、薄い絶縁膜 5 の上に、Co 膜を膜厚 3.3 nm 成膜する。更に、Co 膜の上に、NiFe 膜を膜厚約 1.7 nm 成膜する。更に、FeMn 膜を膜厚約 5.0 nm 成膜する。素子完成後、Co 膜から成る第二の磁性金属層 6 と NiFe 膜から成る固定側磁性層 7 とは、ピン層 (固定層) として、また、FeMn 膜は反強磁性層 8 として機能する。

【0055】

図 6 (B) に示すように、素子部以外の部分を、イオンミリング法、RIE (reactive ion etching) 法等を用いて取り除き、この取り除いた部分に絶縁層 15-1, 15-2 を成膜する。その後、絶縁層 15-1, 15-2 及び反強磁性層 8 の上に、Ta 膜を膜厚約 5.0 nm 成膜する。この Ta 膜は、素子完成後、上部電極 9 として機能する。絶縁層 15-1, 15-2 は、上部電極 9 と下部電極 2 が直接に又は素子部の縁面を介して接触しないようにするため設けられている。

【0056】

図 6 (C) に示すように、このように製造された磁気センサは、上部電極 9 が

ら下部電極 2 に向けてセンス電流（一定の直流電流）17 を流した場合、酸化アルミニウムから成る絶縁膜 5 を通過するトンネル電流は、膜厚の相対的に薄い部分に集中的に流れ、この部分がセンサ部 13 として機能することになる。酸化 Al 膜の薄い部分は任意の箇所に形成することが出来るため、センサ部 13 を磁性層内の任意の箇所、好ましくは自由側磁性層 3 の磁区が一番回転しやすい中央部付近に設けることができ、この磁区の円滑な回転が確保される。

【0057】

（第二の製造方法）

図 7（A）～図 8（C）は、連続して、磁気センサの第 2 の製造方法を説明する図である。第 2 の製造方法は、第 1 の製造方法と比較すると、薄い絶縁膜を形成する工程が異なっている点で相違する。

図 7（A）に示すように、自然酸化膜が付いた Si 基板 1 を用意する。この基板の上に、スパッタ法を用いて、Ta 膜を膜厚約 50 nm 成膜する。この Ta 膜は、素子完成後に、下部電極 2 として機能する。この下部電極の上に、約 300 Oe の磁場を印加しながら、NiFe 膜を膜厚約 17 nm 成膜し、更に、Co 膜を膜厚約 3.3 nm 成膜する。素子完成後に、NiFe 膜から成る自由側磁性層 3 と Co 膜から成る第一の磁性金属層 4 はフリー層として機能する。この段階までは、第 1 の製造方法と同じである。

【0058】

図 7（B）に示すように、センサ部 13 にレジスト 21 を塗布し、その後、このレジスト及び第一の磁性金属層 4 の上に、第一の Al_2O_3 膜 5-1 を膜厚約 2.0 nm 成膜する。

図 7（C）に示すように、レジスト 21 を除去した後、Al 膜を膜厚約 1.3 nm 成膜し、プラズマ酸化法を用いて、Al 膜表面を酸化して、酸化アルミニウム膜（第二の Al_2O_3 膜）5-2 とする。この結果、第一の酸化アルミニウム膜 5-1 と第二の酸化アルミニウム膜 5-2 とから形成された絶縁層 5 は、センサ部 13 では膜厚約 1.3 nm となり、それ以外の部分では膜厚約 3.3 nm の絶縁層が形成される。この絶縁層 5 の部分的に薄くなった領域（センサ部）は、素子完成後、トンネル障壁として機能する。

【0059】

以下、第1の製造方法と同じように、製造される。即ち、図8（A）に示すように、この薄い絶縁膜5の上に、第二の磁性金属層6として、Co膜を膜厚約3.3nm成膜する。次ぎに、第二の磁性金属層6の上に、固定側磁性層7として、NiFe膜7を膜厚約17nm成膜する。更に、固定側磁性層7の上に、反強磁性層8として、FeMn膜を膜厚約50nm成膜する。

【0060】

図8（B）に示すように、素子部位外の部分を、イオンミリング法、RIE法等を用いて取り除き、この取り除いた部分に絶縁層15-1、15-2を成膜する。その後、絶縁層15-1、15-2及び反強磁性層8の上に、上部磁極9として、Ta膜を膜厚約50nm成膜する。

このように製造された磁気センサは、上部電極9から下部電極2に向けてセンス電流（一定の直流電流）を流した場合、酸化アルミニウムから成る絶縁膜5を通過するトンネル電流は、膜厚の相対的に薄いセンサ部13に集中的に流れ、この部分がセンサ部として機能することになる。従って、膜厚の相対的に薄い部分を磁性層内の任意の箇所、好ましくは自由側磁性層の磁区が一番回転しやすい中央部に設けることができ、この磁区の円滑な回転が確保される。

〔磁気ヘッドへの応用例〕

上述のような磁気センサは、典型的には、磁気ヘッドへ応用できる。現在、磁気ヘッドとして、記録用には容量型ヘッド（inductive head）を用い、再生用としてGMRヘッドを用い、両ヘッドを一体化した複合型磁気ヘッドが開発され、実用化されている。

【0061】

GMRヘッドは、典型的には、スピバルブ構造（但し、トンネル接合は有していない。）を採用している。このような複合型磁気ヘッドのGMRヘッドの代わりに、上述したトンネル接合を有するスピバルブ構造の磁気センサを、そのまま採用することが出来る。

〔他の応用例〕

本発明に係る磁気センサを磁気エンコーダに応用した例を説明する。

【0062】

図9 (A) は、本実施形態に係る磁気エンコーダに使用される磁気センサ50を示す図である。この磁気センサ50は、電源端子Vと、接地端子GNDと、出力A端子A-OUTと、出力B端子B-OUTとを有している。磁気センサ50として、電源端子Vと出力A端子A-OUTの間には第一の強磁性トンネル接合素子TMR (tunnel-MR) 1が接合され、電源端子Vと出力B端子B-OUTの間には第二の強磁性トンネル接合素子TMR 2が接合され、接地端子GNDと出力A端子A-OUTの間には第三の強磁性トンネル接合素子TMR 3が接合され、接地端子GNDと出力B端子B-OUTの間には第四の強磁性トンネル接合素子TMR 4が接合されている。

【0063】

強磁性トンネル接合素子の各々 (即ち、TMR 1~TMR 4) は、6個のトンネル接合部 (51-1~51-6, 52-1~52-6, 53-1~53-6, 54-1~54-6) を、直列接続で持っている。トンネル接合部51-1~54-6の各々の接合面積は約 $50\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$ である。

図9 (B) は、図9 (A) の磁気センサ50の等価回路を示す図である。

【0064】

図9 (A) に示す磁気センサの製造方法を簡単に説明する。先ず、図9 (C) に示すようなマスクを用いて、自由側磁性層としてNiFe膜を膜厚約17nmに成膜し、更に連続して第一の磁性金属層としてCo膜を膜厚約3.3nm成膜する。

マスクを交換した後、絶縁層としてAlを膜厚約1.3nm成膜し、表面に対して酸化処理を行った。酸化処理は、第1の製造方法及び第2の製造方法で説明したプラズマ酸化法で行い、センサ部には薄い酸化膜を、その他の領域には相対的に厚い酸化膜を形成した。なお、その他の酸化処理、例えば自然酸化法により行ってもよい。

【0065】

酸化膜形成後、マスクを交換して、第二の磁性金属膜としてCo膜を膜厚約3.3nm成膜し、固定側磁性層としてNiFe膜を膜厚約17nm成膜し、反強磁性層としてFeMn膜を膜厚約45nm成膜した。更に、その上に上部電極としてTa膜

を膜厚約 8 nm 積層した。以上のように、スピバルブ型磁気センサと同様な層構成及び製造工程により、磁気エンコーダを製造することが出来る。

【0066】

次に、磁気エンコーダの動作について説明する。

図 10 (A) は、図 9 (A) に示す磁気エンコーダの磁気抵抗曲線を模式的に示す図である。式 (1) に関連して説明したように、強磁性トンネル接合素子 TMR の上部層 12 の磁化方向 M_{upper} は下部層 10 の磁化方向 M_{lower} と直交するように、反強磁性層 (FeMn 膜) 8 で固定されている。図 10 (A) に示すように、強磁性トンネル接合素子 TMR に対し上部層 12 の磁化方向 M_{upper} と同じ方向に外部磁界がかかったとき (即ち、外部磁界 $-H$)、上部層 12 の磁化方向 M_{upper} と下部層 10 の磁化方向 M_{lower} は、同じ向きの平行な関係になる。即ち、2 つの磁化方向の相対角度 θ はゼロとなるため、式 (1) より、強磁性トンネル接合素子 TMR の抵抗値は最小値をとり、 $R = R_s$ となる。このときの最小抵抗値を R_L とする。

【0067】

強磁性トンネル接合素子 TMR に対し外部磁界がゼロのとき、下部層 10 の磁化方向 M_{lower} は回転し、上部層 12 と下部層 10 の磁化方向の相対角度 θ は 90° となり、式 (1) より、強磁性トンネル接合素子 TMR の抵抗値は $R = R_s + 0.5 \Delta R$ となる。この外部磁界ゼロのときの抵抗値を R_0 とおく。

強磁性トンネル接合素子 TMR に対し上部層 12 の磁化方向 M_{upper} と反対方向に外部磁界がかかったとき (即ち、外部磁界 H)、下部層 10 の磁化方向 M_{lower} は回転し、上部層 12 の磁化方向 M_{upper} と下部層 10 の磁化方向 M_{lower} は反対向きの平行な関係になる。即ち、2 つの磁化方向の相対角度 θ は 180° となるため、式 (1) より、強磁性トンネル接合素子 TMR の抵抗値は最大値をとり、 $R = R_s + \Delta R$ となる。このときの最大抵抗値を R_H とおく。

【0068】

以上により、外部磁界が $-H$ 、ゼロ、 $+H$ のときの強磁性トンネル接合素子 TMR の抵抗値は、 R_L 、 R_0 、 R_H となり、これらの関係は $R_L < R_0 < R_H$ となる。この関係を図示したのが、図 10 (A) である。

図 10 (B) は、このエンコーダの動作原理を説明する図である。被測定用の磁場発生マグネット 55 とトンネル接合素子 TMR から成る磁気センサ 50 は、図に示すような位置関係にある。磁場発生マグネット 55 は、細長い着磁体であって N 極と S 極が交互に着磁され、一組の S N 極の間隔（着磁周期）を λ とする。TMR1 ~ TMR4 は、磁場発生マグネット 55 の近傍をマグネットの長手方向に相対的に平行移動する関係にある。

【0069】

即ち、最初、トンネル接合素子 TMR1 ~ TMR4 から成る磁気センサ 50 はセンサ位置 [1] に示す位置にある。各強磁性トンネル接合素子 TMR は、 $\lambda/4$ 間隔で配置されている。移動速度で決定される一定時間 t 後、磁気センサ 50 は図で見て右方向に $\lambda/4$ 平行移動してセンサ位置 [2] に示す位置にある。但し、センサ位置 [2] をセンサ位置 [1] に重ねて図示すると分かり難くなるため、図で見て磁場発生マグネット 55 から離れる方向に移動させて図示しているが、実際は磁場発生マグネット 55 の近傍（即ち、センサ位置 [1] の箇所）をマグネットの長手方向に相対的に平行移動していることに注意されたい。センサ位置 [3] 及び [4] も同様である。

【0070】

センサ位置 [2] にある磁気センサ 50 は、更に一定時間 t 後、センサ位置 [3] にあり、更に一定時間 t 後、センサ位置センサ位置 [4]、……、と平行移動する。

先ず、図 10 (B) のセンサ位置センサ位置 [1] のとき、磁場発生マグネット 55 からの外部磁界の影響を受けて、各トンネル接合素子は、 $TMR1 = RL$ 、 $TMR2 = R0$ 、 $TMR3 = RH$ 、 $TMR4 = R0$ となる。図 11 (A) は、図 9 (B) に対応する図であるが、この等価回路から、出力 A 端子と出力 B 端子の電圧出力 V_A 、 V_B は、出力 A 端子は電圧 V を TMR1 と TMR3 で分圧しており、出力 B 端子は電圧 V を TMR2 と TMR4 で分圧しているため、次のようになる。

【0071】

$$V_A = V \cdot TMR3 / (TMR1 + TMR3) = V \cdot RH / (RL + RH)$$

… (5)

$$V_B = V \cdot TMR4 / (TMR2 + TMR4) = V \cdot R0 / (R0 + R0)$$

… (6)

ここで、式 (5) 及び (6) の結果より、それぞれ次のようにおく。

【0072】

$$V_A = V \cdot RH / (RL + RH) = V_H \dots\dots (7)$$

$$V_B = V \cdot R0 / (R0 + R0) = V / 2 = V_0 \dots\dots (8)$$

次ぎに、図 10 (B) のセンサ位置 [2] のとき、 $TMR1 = R0$, $TMR2 = RH$, $TMR3 = R0$, $TMR4 = RL$ となる。従って、出力 A 端子と出力 B 端子の電圧出力 V_A , V_B は、次のようになる。

【0073】

$$\begin{aligned} V_A &= V \cdot TMR3 / (TMR1 + TMR3) = V \cdot R0 / (R0 + R0) \\ &= V / 2 = V_0 \dots\dots (9) \end{aligned}$$

$$V_B = V \cdot TMR4 / (TMR2 + TMR4) = V \cdot RL / (RH + RL)$$

… (10)

ここで、式 (10) の結果より、次のようにおく。

【0074】

$$V_A = V \cdot RL / (RL + RH) = V_L \dots\dots (11)$$

同様に、図 10 (B) のセンサ位置 [3] のとき、 $TMR1 = RH$, $TMR2 = R0$, $TMR3 = RL$, $TMR4 = R0$ となる。従って、出力 A 端子と出力 B 端子の電圧出力 V_A , V_B は、次のようになる。

$$\begin{aligned} V_A &= V \cdot TMR3 / (TMR1 + TMR3) = V \cdot RL / (RH + RL) \\ &= V_L \dots\dots (12) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_B &= V \cdot TMR4 / (TMR2 + TMR4) = V \cdot R0 / (R0 + R0) \\ &= V / 2 = V_0 \dots\dots (13) \end{aligned}$$

同様に、図 10 (B) のセンサ位置 [4] のとき、 $TMR1 = R0$, $TMR2 = RL$, $TMR3 = R0$, $TMR4 = RH$ となる。従って、出力 A 端子と出力 B 端子の電圧出力 V_A , V_B は、次のようになる。

【0075】

$$\begin{aligned} V_A &= V \cdot TMR3 / (TMR1 + TMR3) = V \cdot R0 / (R0 + R0) \\ &= V / 2 = V0 \dots\dots (14) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_B &= V \cdot TMR4 / (TMR2 + TMR4) = V \cdot RH / (RL + RH) \\ &= V_H \dots\dots (15) \end{aligned}$$

以下、磁場発生マグネット 55 の S N 極に対する磁気センサ部 50 の相対的な位置関係は、センサ位置 [1] ～ [4] を繰り返すことになる。図 11 (B) は、このセンサ部の出力波形を示す図である。

【0076】

図 12 は、図 10 で説明した動作原理を利用した実際の磁気エンコーダを示す図である。この磁気エンコーダは、回転着磁体 56 とその近傍に配置された磁気センサ 50 とを有する。磁場発生マグネット 55 を無限長にする代わりに、実際には、回転着磁体 56 を使用している。

回転着磁体 56 は、直径 10 mm、軸の直径 5 mm で、その円周上に、S N 極の組が 16 組放射状に配列されている。このとき、着磁周期 λ は約 1.5 mm となる。磁気センサ 50 は、センサの中心が回転着磁体 56 の放射状着磁部分の中央に位置合わせして位置決めされる。

【0077】

磁気センサ 50 は、各強磁性トンネル接合素子 TMR を回転着磁体 56 の放射状に延びる磁石に平行で、且つ各素子間隔が $\lambda / 4$ に成るように並べる必要がある。このためには、各素子 TMR の成す角を約 5.6° とし、隣接する素子の中心部での間隔を 0.37 mm としている。このような磁気エンコーダは、回転着磁体 56 を回転することにより、磁気センサ 50 の各強磁性トンネル抵抗素子 TMR 5 から図 11 (B) で説明したような出力波形を得ることが出来る。即ち、磁気センサ 50 が回転着磁体 56 に対して着磁周期 λ だけ相対的に移動したとき、1 周期分の出力パルスが発生する。

【0078】

スピンバルブ型磁気センサに関連して説明したように、各強磁性トンネル接合素子 TMR のトンネル接合部において、センサ部を磁性層領域内の最適な位置に形成することが出来る。この結果、自由側磁性層では、磁性層端部の影響を受け

ずに、各々の磁区で容易に磁化の回転が出来るようになる。

このように、本発明は、磁気ヘッド、エンコーダ等の磁気センサ一般に応用することが出来る。

【0079】

【発明の効果】

本発明によれば、新規な磁気センサ、磁気ヘッド及びエンコーダを提供することができる。

更に本発明によれば、トンネル接合を有するスピバルブ構造で形成され、自由側磁性層の磁化の回転を十分に確保して、良好な感度を持つ磁気センサ、磁気ヘッド及びエンコーダを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

図1は、強磁性トンネル構造を説明する図である。ここで、図1（A）は、強磁性トンネル構造を有する層構成を示し、図1（B）は図1（A）の強磁性トンネル構造の抵抗変化の測定を説明する模式図である。

【図2】

図2は、図1のトンネル接合の磁界－抵抗特性を示すグラフである。

【図3】

図3は、スピバルブ構造にトンネル接合を組み込んだスピバルブ素子の構成を説明する図である。ここで、図3（A）は本実施例に係るスピバルブ素子を示し、図3（B）は比較例としての先に提案したスピバルブ素子を示す。

【図4】

図4は、本実施形態に係る磁気センサの構成を示す図である。

【図5】

図5は、図6と一緒に一連で、図4の磁気センサの第1の製造方法を説明する図である。

【図6】

図6は、図5と一緒に一連で、図4の磁気センサの第1の製造方法を説明する図である。

【図 7】

図 7 は、図 8 と一緒になって一連で、図 4 の磁気センサの第 2 の製造方法を説明する図である。

【図 8】

図 8 は、図 7 と一緒になって一連で、図 4 の磁気センサの第 2 の製造方法を説明する図である。

【図 9】

図 9 (A) は磁気センサを示す図であり、図 9 (B) は磁気センサの等価回路を示す図であり、図 9 (C) は磁気センサ製造時に使用されるマスクを説明する図である。

【図 10】

図 10 (A) は磁気センサの出力特性を示す図であり、図 10 (B) は磁気センサの動作原理を説明する図である。

【図 11】

図 11 (A) は磁気センサの動作原理を説明する際に使用される等価回路であり、図 11 (B) は磁気センサの出力特性を示す図である。

【図 12】

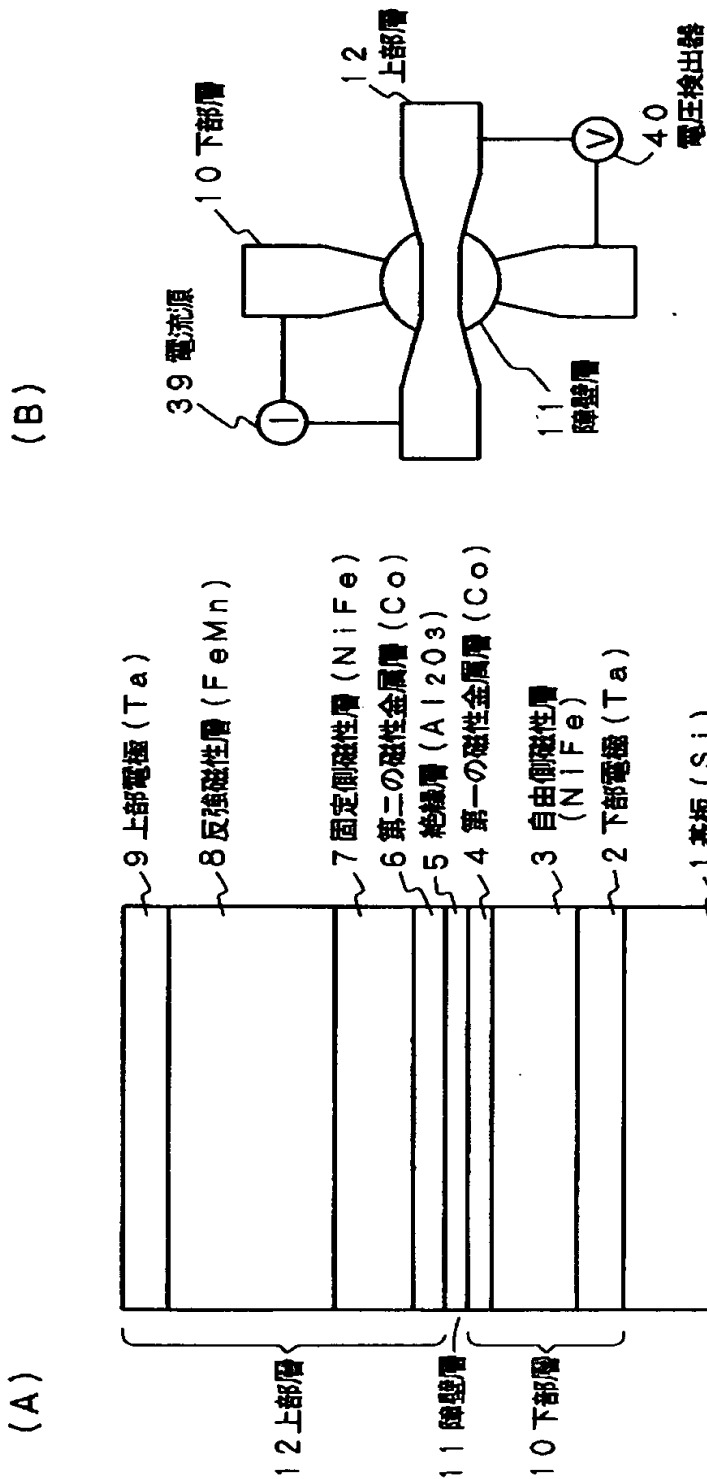
図 12 (A) は、実際の磁気エンコーダを示す図であり、図 12 (B) は磁気エンコーダの磁気センサの拡大図である。

【符号の説明】

1 : 基板、 2 : 下部電極、 3 : 自由側磁性層 (自由層, フリー層)、 4 : 第一の磁性金属層、 5 : 絶縁層 (5-1 : 第一の Al₂O₃ 膜, 5-2 : 第二の Al₂O₃ 膜)、 6 : 第二の磁性金属層、 7 : 固定側磁性層 (固定層, ピンド層)、 8 : 反強磁性層 (ピニング層)、 9, 90 : 上部電極、 10, 100 : 下部層、 11, 110 : 障壁層、 12, 120 : 上部層、 13, 130 : センサ部、 15, 15-1, 15-2, 150 : 絶縁層、 16 : 凹部, 凹み領域、 17 : センス電流、 18 : トンネル電流、 19 : レジスト、 20 : 開口、 39 : 電流源、 40 : 電圧源、 50 : 磁気センサ、 51, 52, 53, 54 : トンネル接合部、 55 : 被測定用の磁場発生マグネット、 56 : 回転着磁体、 h :

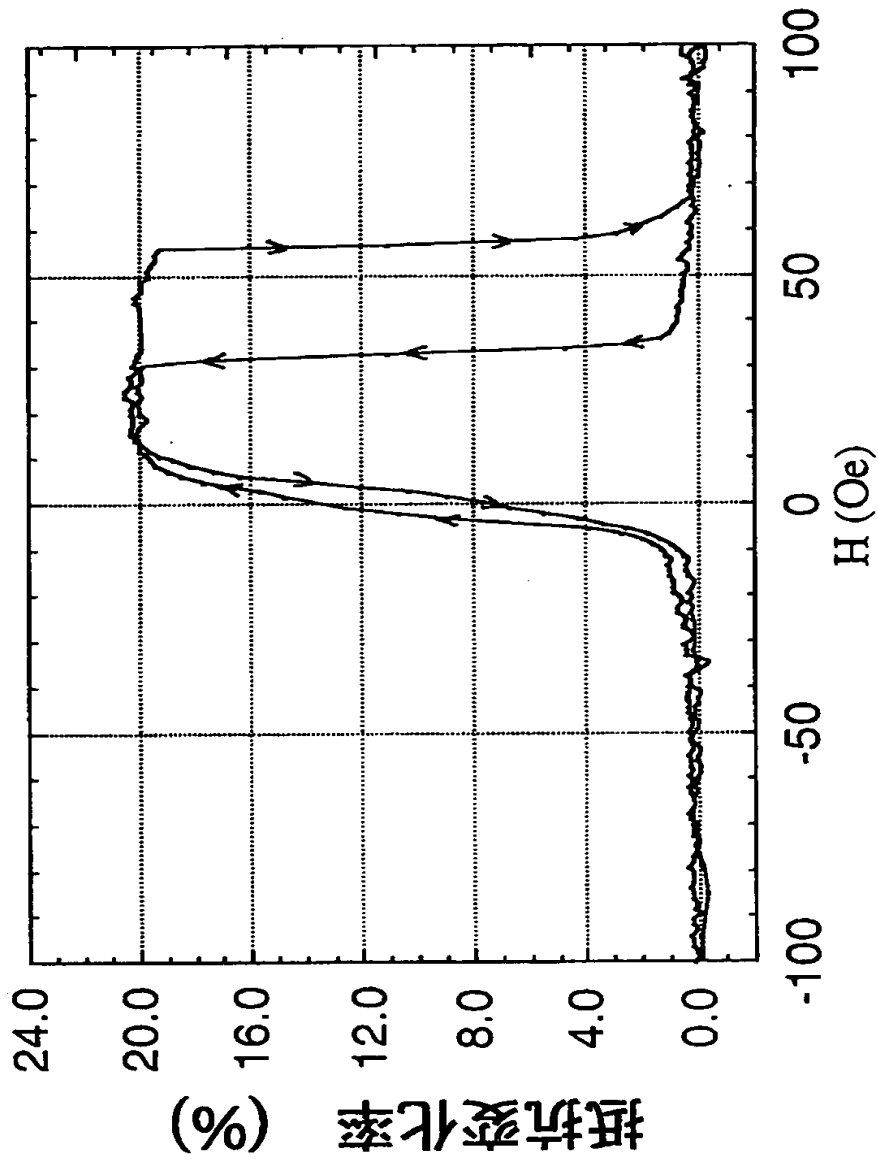
素子高さ、 h_S : センサ部高さ、 w : コア幅、 H_{sig} : 外部信号磁界、
TMR、トンネル接合素子、

【書類名】 図面
【図 1】



強磁性トンネル構造の説明図

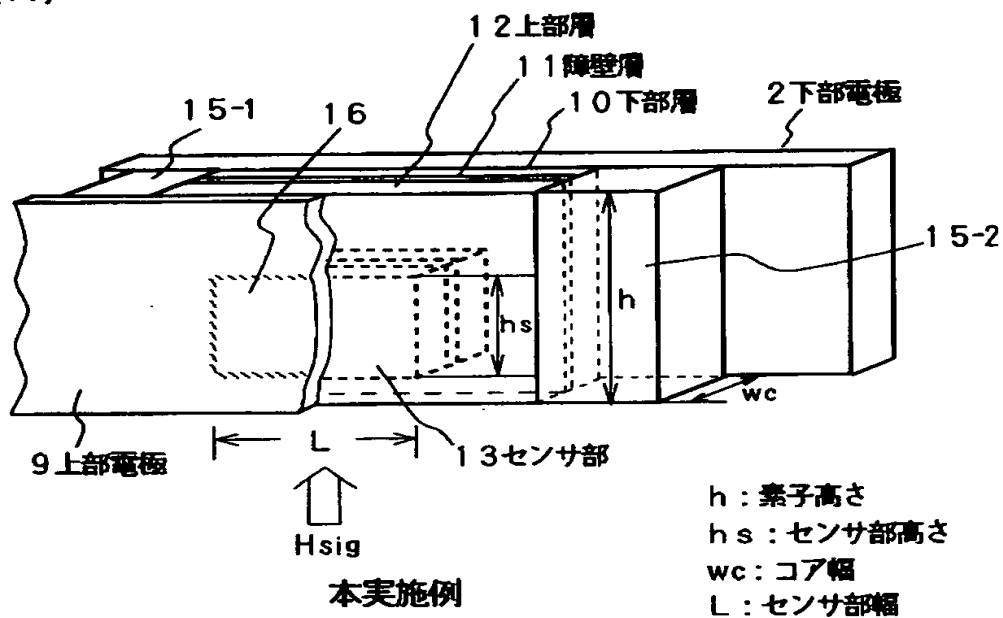
【図2】



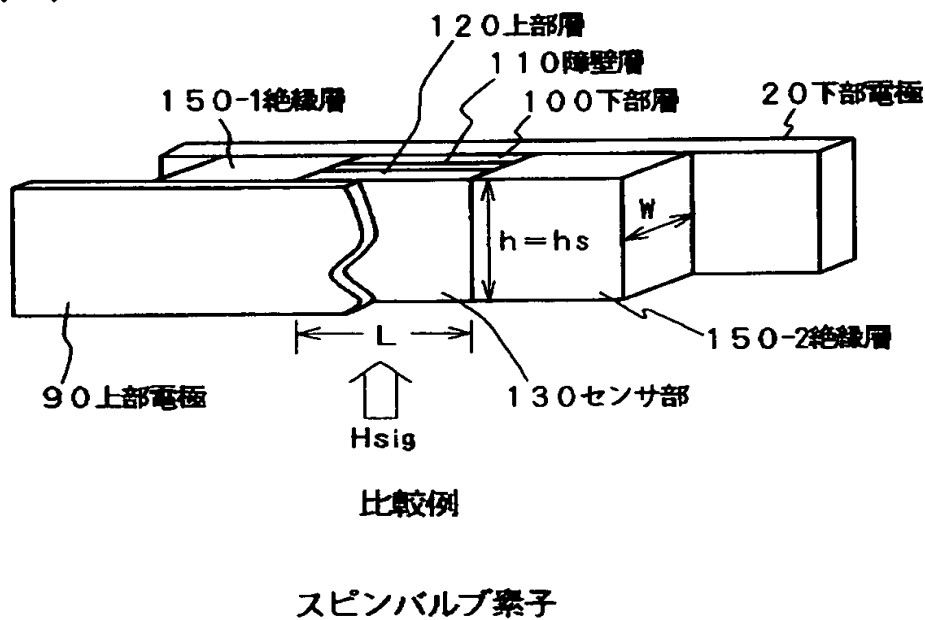
強磁性トンネル接合の磁界-抵抗曲線

【図 3】

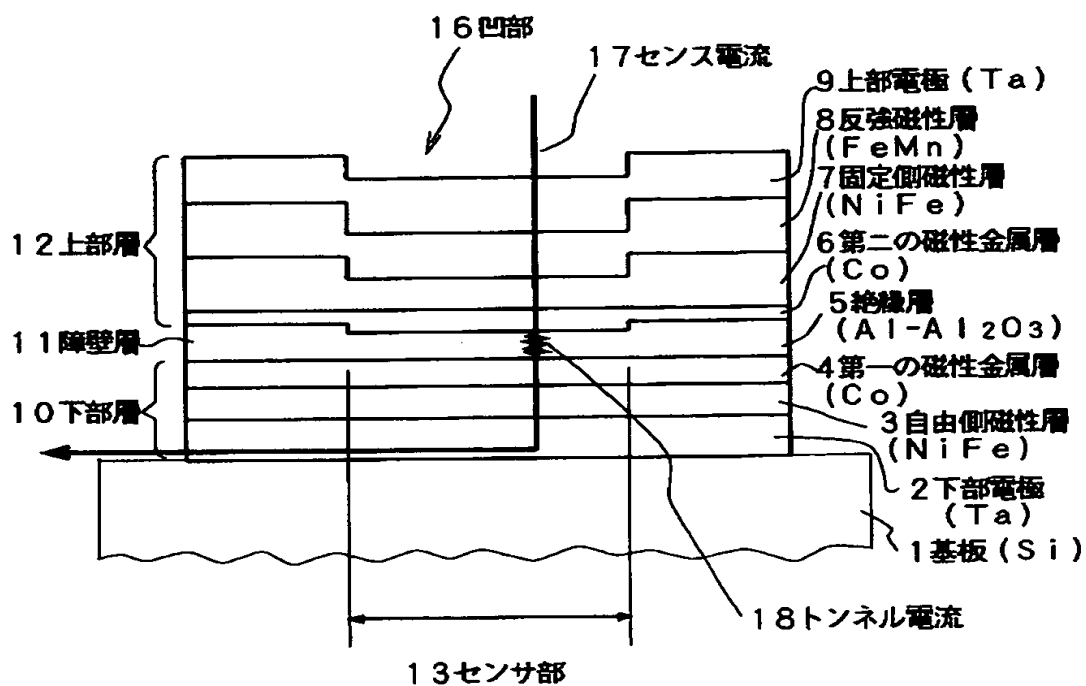
(A)



(B)



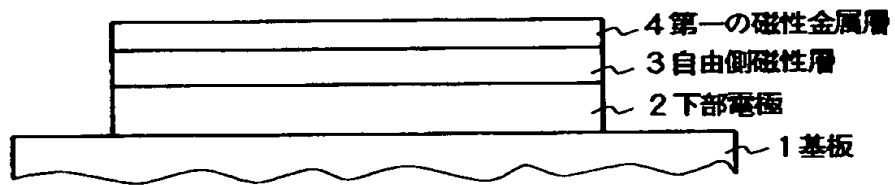
【図4】



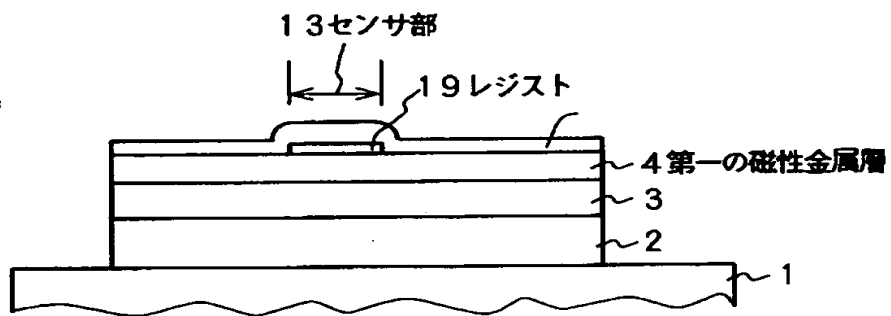
磁気センサの構成

【図 5】

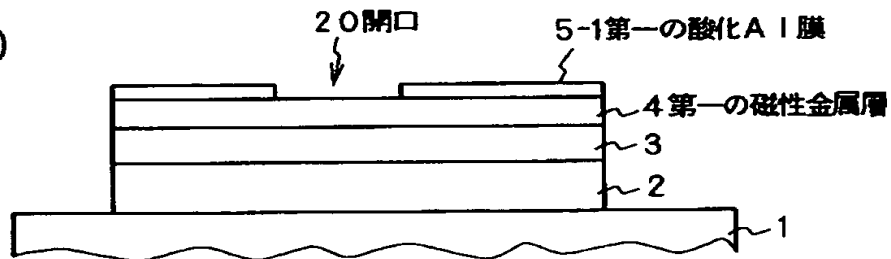
(A)



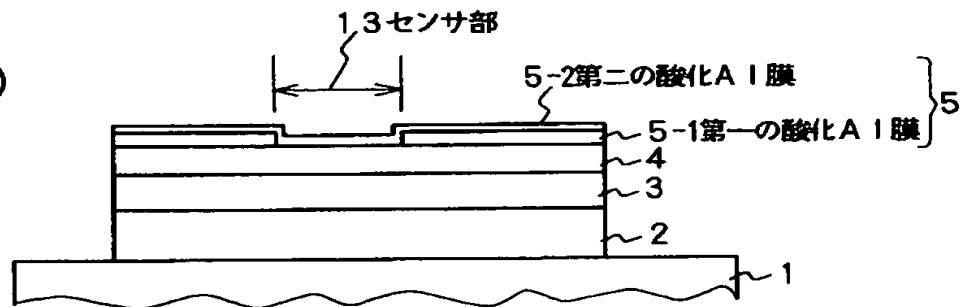
(B)



(C)



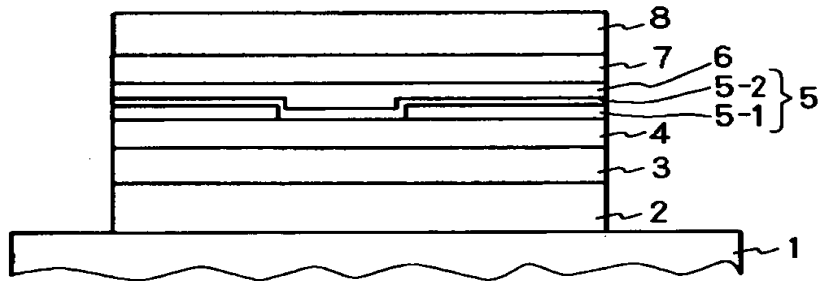
(D)



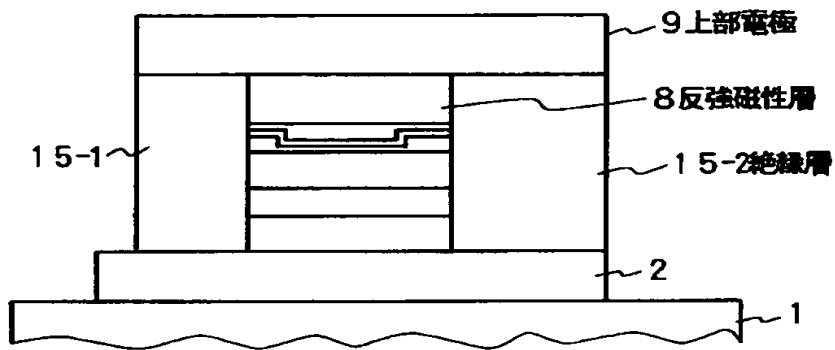
第一の製造方法 (その1)

【図6】

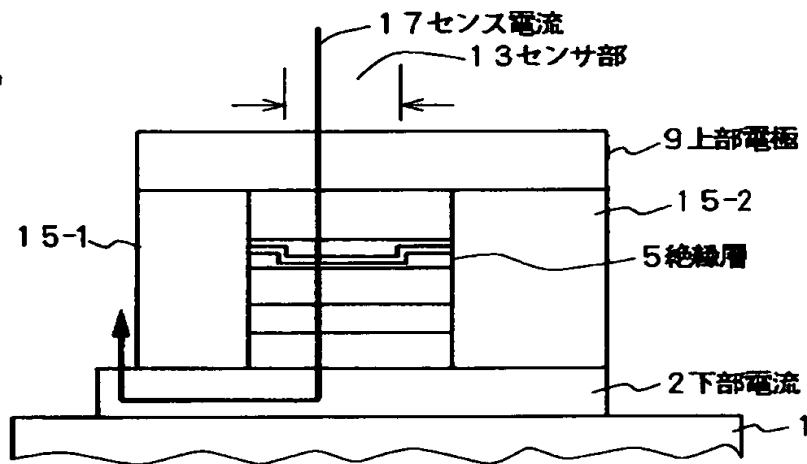
(A)



(B)



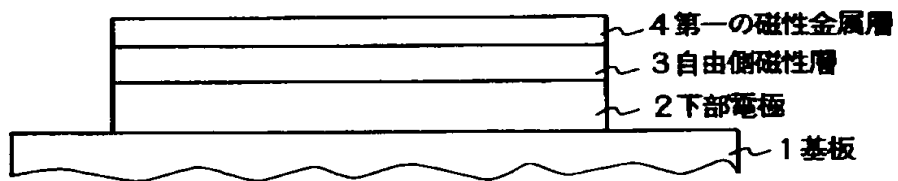
(C)



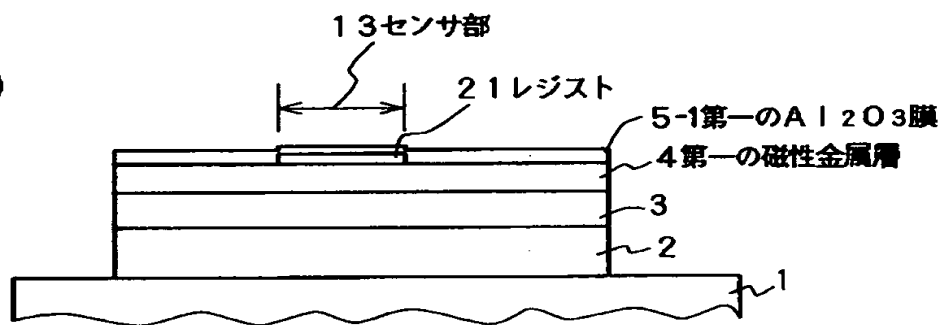
第一の製造方法 (その2)

【図7】

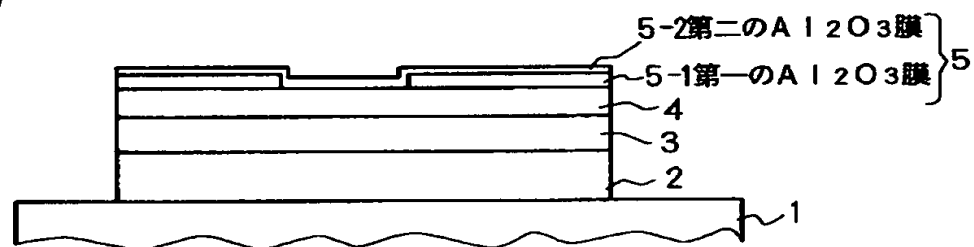
(A)



(B)



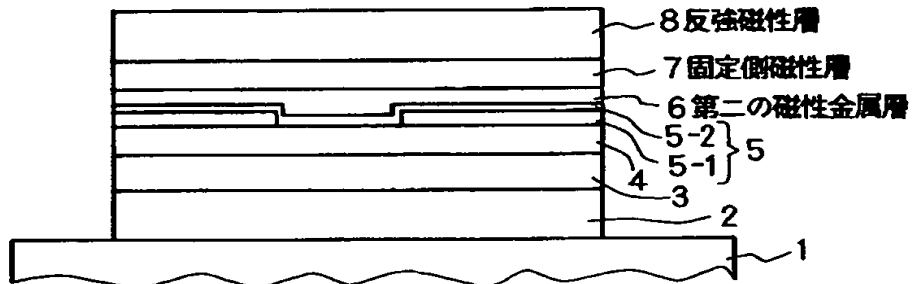
(C)



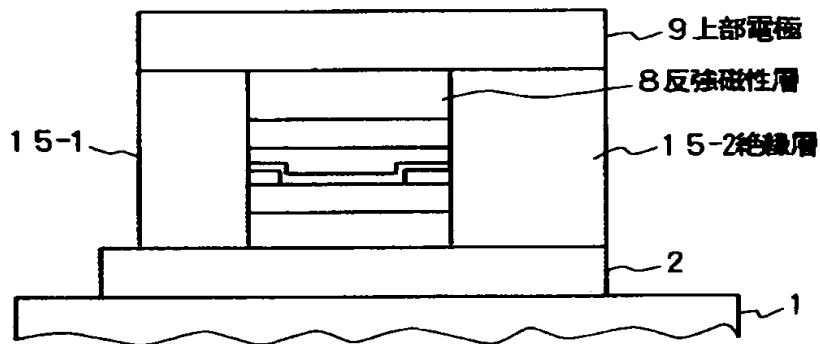
第二の製造方法 (その1)

【図 8】

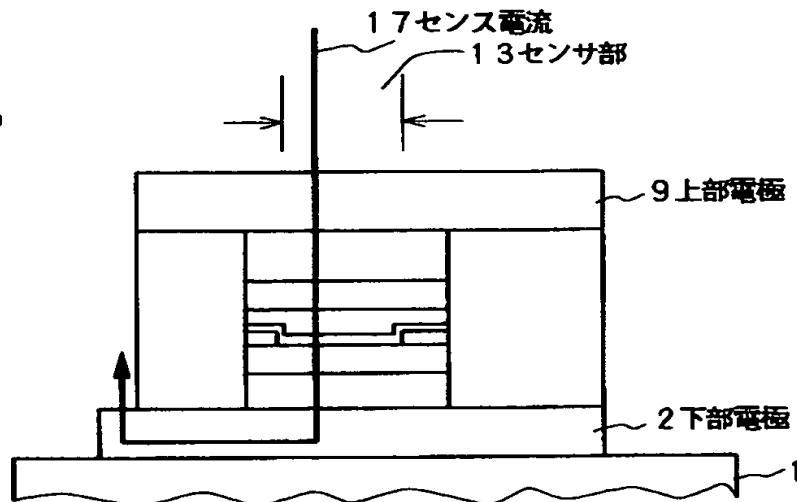
(A)



(B)

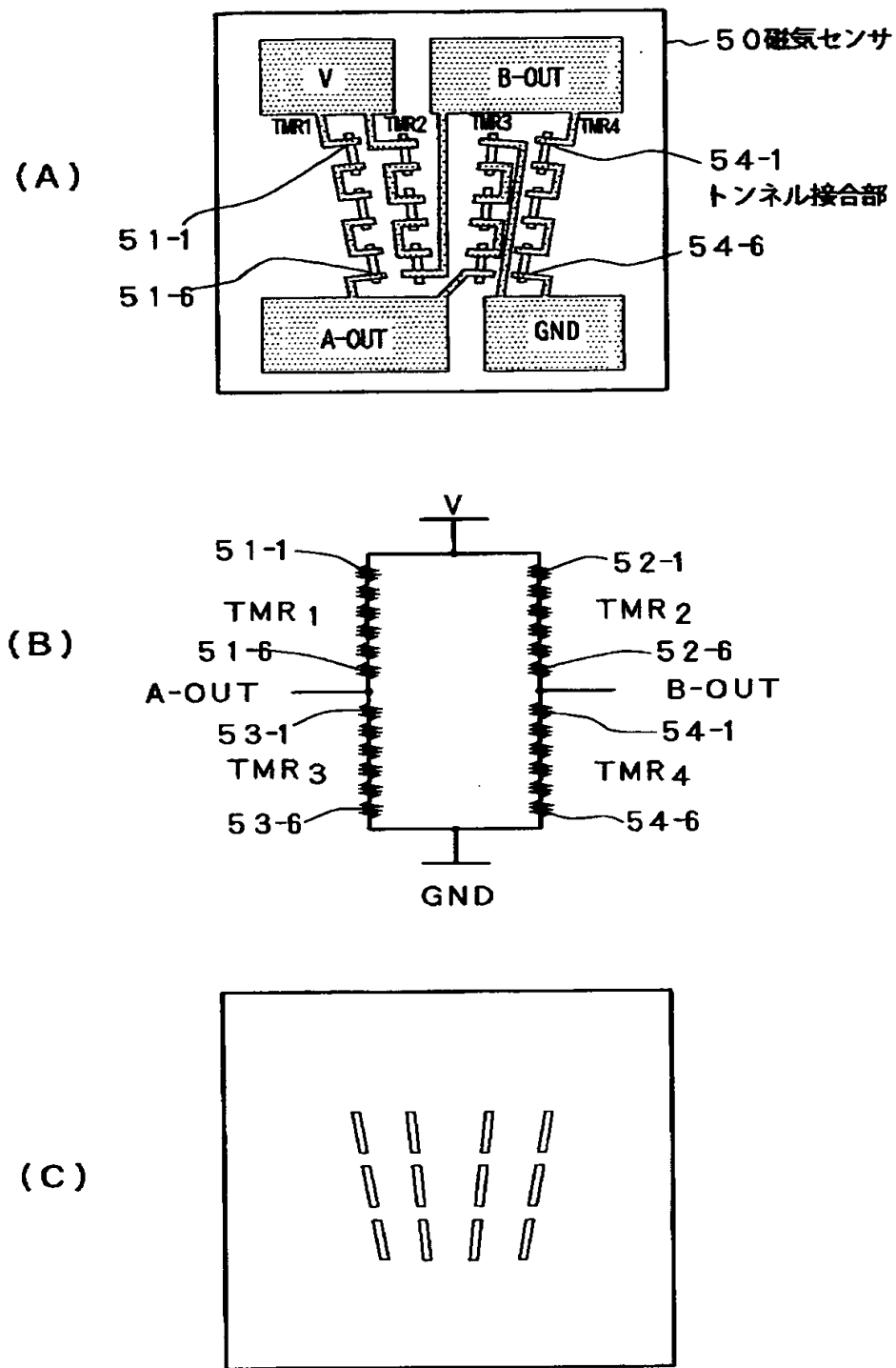


(C)



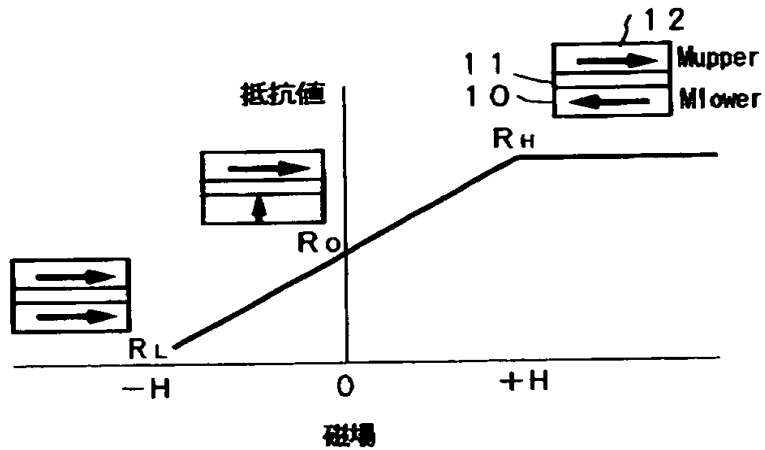
第二の製造方法 (その2)

【図9】

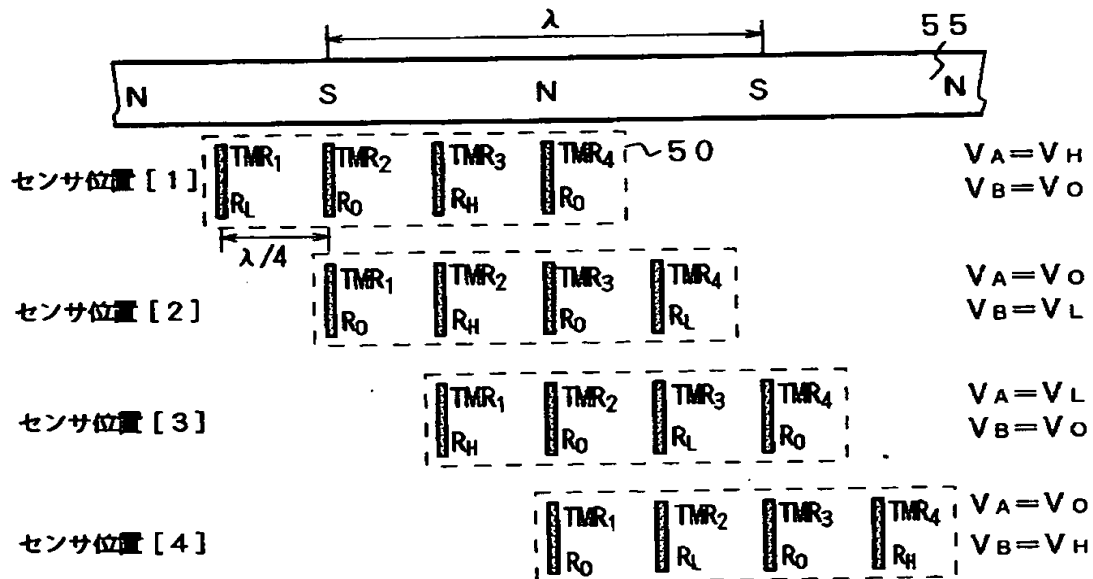


【図 10】

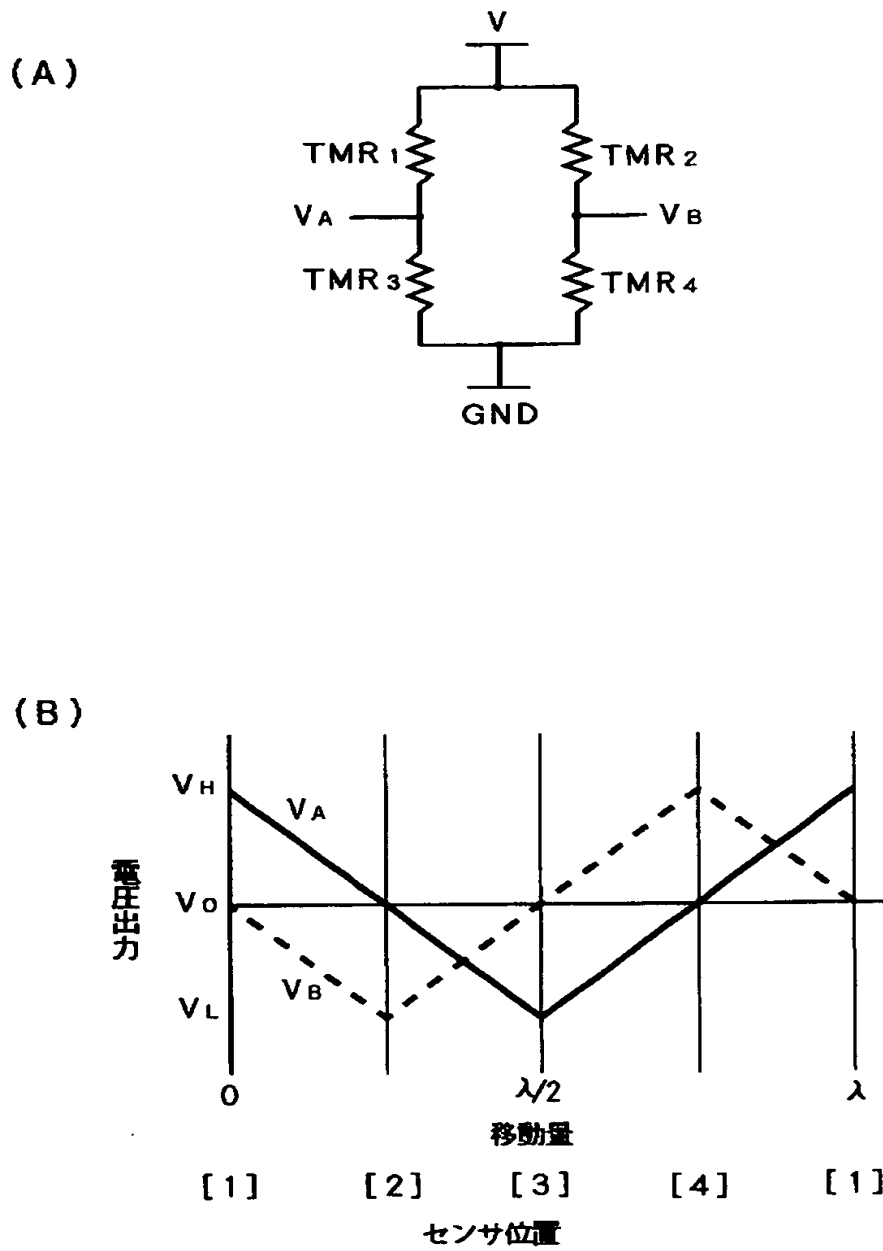
(A)



(B)

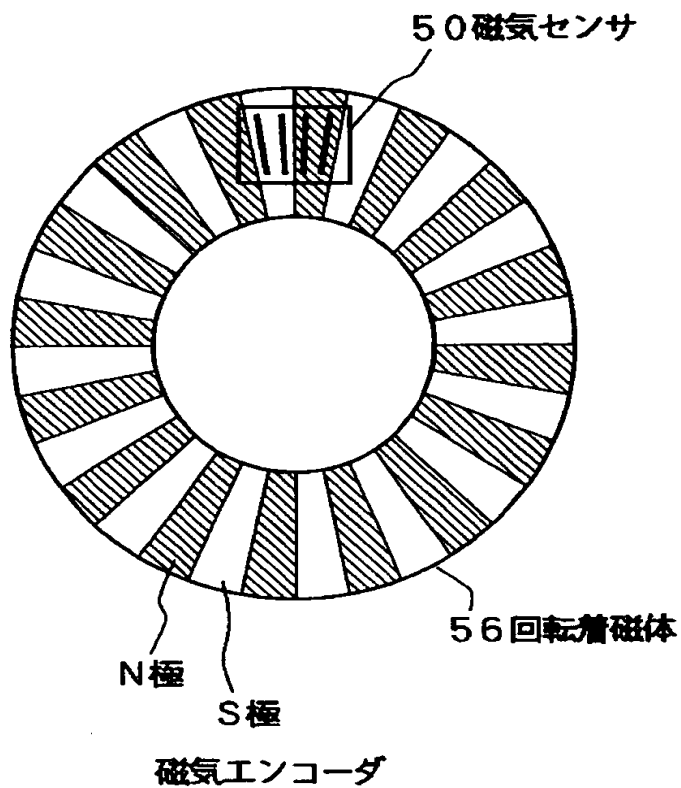


【図 11】

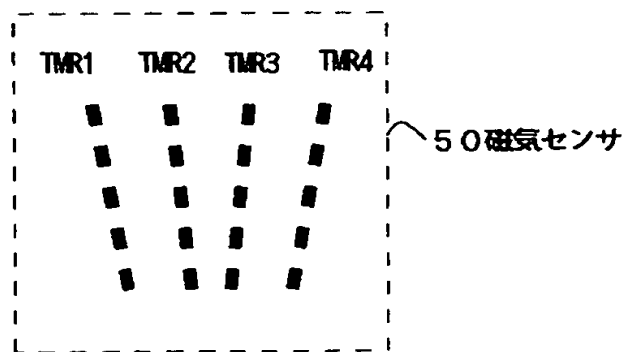


【図 12】

(A)



(B)



磁気センサの拡大図

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 トンネル接合を有するスピバルブ構造で形成され、自由側磁性層の磁化の回転を十分に確保して、良好な感度を持つ磁気センサ、磁気ヘッド及びエンコーダを提供すること

【解決手段】 強磁性トンネル接合を有するスピバルブ構造で構成され、前記強磁性トンネル構造は、2つの磁性層間に絶縁膜を介在配置して形成されており、前記絶縁膜は、膜厚が相対的に薄い領域を持ち、該領域に対応して磁気センサ部が決定される。

【選択図】 図3

【書類名】 職権訂正データ
【訂正書類】 特許願

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】 000005223

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号

【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】 申請人

【識別番号】 100091672

【住所又は居所】 東京都中央区日本橋人形町3丁目11番7号山西ビル4階 岡本国際特許事務所

【氏名又は名称】 岡本 啓三

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005223]

1. 変更年月日 1996年 3月26日
[変更理由] 住所変更
住 所 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
氏 名 富士通株式会社